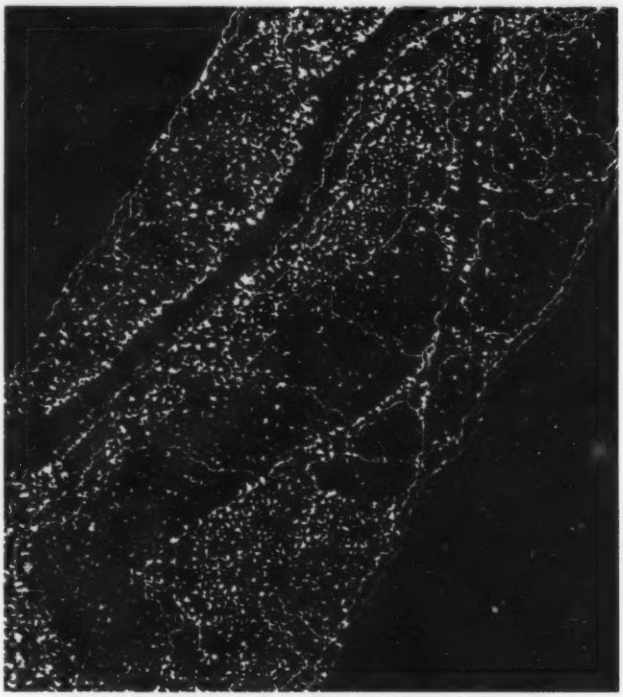
NOTES DE TRANSFERT TECHNOLOGIQU
Applications de la recherche forestière Centre de foresterie du Pacifique Numéro 22, septembre 2000

Vers l'inventaire forestier semi-automatique par la reconnaissance individuelle des cimes des arbres

F. A. Gougeon



Reconnaissance individuelle des cimes des arbres et contours des peuplements générés par ordinateur. (Rouge = Douglas taxifolié; vert = sapin grandissime; bleu = sapin gracieux; orangé = thuya géant; jaune = pruche de l'Ouest; bleu pâle = feuillus.) Cette technologie pourrait permettre de parachever plus rapidement les inventaires forestiers et de couvrir de plus grandes superficies.

Importance stratégique

Quelques 24 millions d'hectares de forêt sont cartographiés chaque année au Canada. À l'heure actuelle, les inventaires d'aménagement sont préparés à partir de l'interprétation de photographies aériennes (à une échelle de 1/10 000 ou de 1/20 000) et d'un échantillonnage sur le terrain. Il s'agit d'opérations à forte intensité de main-d'œuvre et, malgré les ressources consacrées au traitement visuel et à l'interprétation, ces inventaires n'ont pas toujours le degré de précision nécessaire à certaines applications.

En comparaison des photos aériennes conventionnelles, les images multispectrales à haute résolution spatiale présentent trois avantages fondamentaux : elles peuvent tirer un meilleur parti du spectre chromatique et montrer des renseignements qui ne sont pas toujours visibles sur des photos aériennes; elles sont acquises sous forme numérique et se prêtent donc mieux à des analyses plus poussées et plus directes par ordinateur; les images et l'information qu'elles fournissent peuvent être plus facilement géolocalisées, ce qui permet de les transférer directement dans des systèmes d'information géographique (SIG) où résident maintenant la plupart des données d'inventaire forestier.

Un objectif à long terme de ces travaux est de produire des inventaires précis d'aménagement forestier à l'aide de techniques semi-automatiques. La mise en œuvre de méthodes automatisées de collecte et d'évaluation de données d'inventaire forestier à partir d'images de télédétection numérique à haute résolution fournira en bout de ligne de nouveaux types de données aux fins de l'aménagement polyvalent des ressources. En outre, elle élargira l'utilisation des inventaires et rendra l'information forestière plus précise, plus exacte, plus économique et plus actuelle.

En foresterie, l'interprétation semi-automatisée de données numériques à haute résolution spatiale exige l'interaction de plusieurs composantes. L'isolement automatique des cimes des arbres visibles est une composante clé de ce processus. Des démonstrations de cette étape ont été effectuées à l'aide d'images de télédétection et de photos aériennes numérisées à haute résolution spatiale (10–100 cm par pixel). À la lumière des résultats obtenus, il est prévisible que les classifications par pixel et la segmentation par surface habituellement utilisées sur les images à plus faible résolution spatiale céderont graduellement le pas à une nouvelle capacité d'analyse d'images des forêts « à l'arbre près ».

Une nouvelle approche : la reconnaissance des cimes des arbres

Cette approche permet d'isoler les cimes des arbres, de les démarquer de la végétation sous-jacente et d'identifier individuellement les essences. Les cimes sont regroupées, au besoin, en peuplements forestiers. Les

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts
Natural Resources Canada
Canadian Forest Service
Canada

limites actuelles ou récemment établies par interprétation ainsi que les limites géopolitiques peuvent aussi servir à les regrouper. La figure 2 montre les étapes conceptuelles menant à la production semi-automatique d'inventaires forestiers qui permettraient de définir avec précision la composition en essences de peuplements ou de strates environnementales.

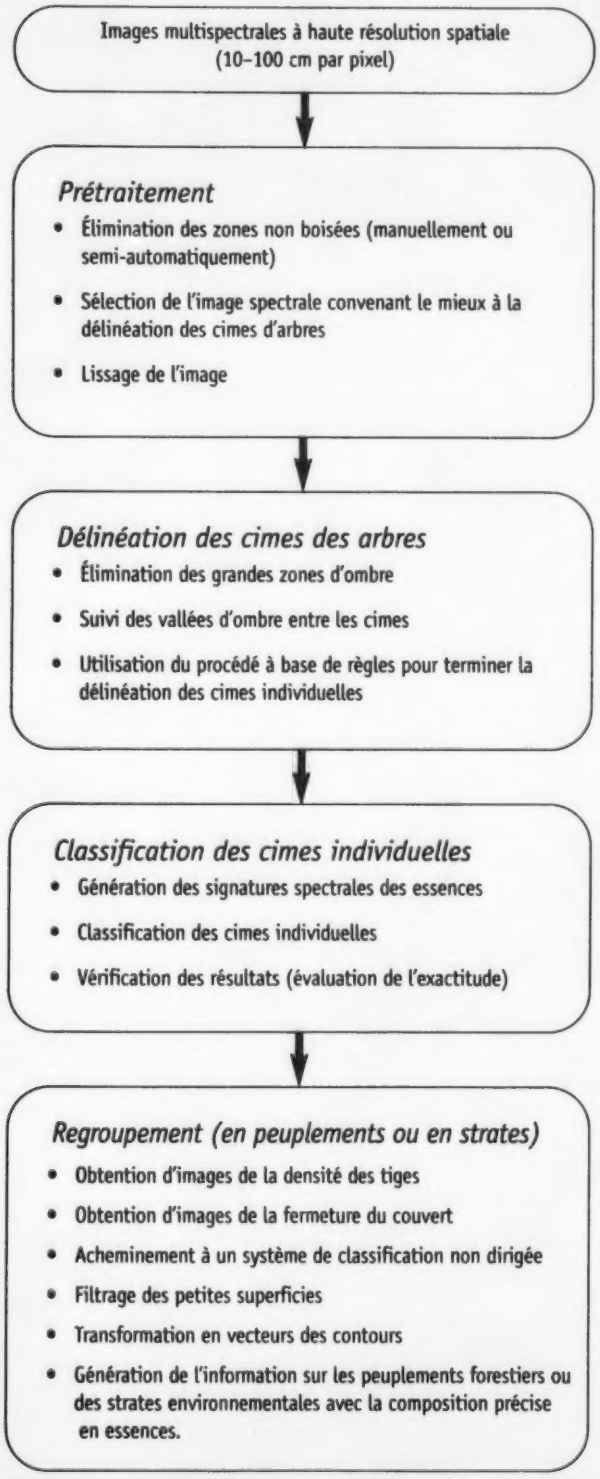


Figure 2. Étapes conceptuelles nécessaires à la cartographie semi-automatique des peuplements forestiers établissant la composition précise en essences.

Prétraitement

Le prétraitement comporte trois étapes, soit la sélection de l'image spectrale convenant le mieux à la délinéation des cimes des arbres, le lissage de l'image et l'élimination des zones non boisées. Il est possible d'éliminer les zones non boisées en :

- adoptant une classification non dirigée conventionnelle par pixel, ou,
- utilisant des programmes spéciaux comme NVEGMASK, ou,
- délinéant manuellement les zones non boisées à l'écran.

Délinéation des cimes des arbres

Dans la plupart des forêts mûres, il est possible d'isoler les cimes des arbres visibles ou des groupes d'arbres à l'aide des vallées d'ombre qui habituellement les séparent. Ces dernières peuvent se trouver au sol, dans le sous-étage ou dans certaines parties des houppiers. Ce procédé fait appel à une série de programmes informatiques, comme le montre la figure 3.

Dans le cadre d'un inventaire forestier général, une image dans le proche infrarouge est habituellement utilisée en raison de sa sensibilité aux variations de l'illumination et de sa réactivité à la végétation. Pour faire une analogie géographique, disons que les cimes illuminées des arbres sur une image ressemblent à des montagnes (c.-à-d., pixels à valeur élevée). Les zones plus sombres qui les entourent, les branches plus basses et le sous-étage ombragés, ressemblent à des vallées (c.-à-d., pixels à valeur faible). À l'aide d'une version lissée de l'image dans le proche infrarouge, le procédé d'isolement (ITCVFOL) commence par seuiller l'image afin d'éliminer les grandes zones d'ombre. Il repère ensuite les minima locaux (les pixels les plus sombres des zones d'ombre entre les cimes) des zones boisées de l'image. À partir de ces points, il suit systématiquement les vallées d'ombre qui se trouvent entre les cimes plus illuminées. Cette étape permet une séparation initiale des cimes de conifères, mais ne permet pas toujours de les isoler complètement.

Un procédé de délinéation (ITCISOL) fait appel à une méthode à base de règles pour suivre systématiquement les contours intérieurs d'un houppier donné (ou d'un groupe) et produire des cimes plus distinctes. Il comporte de nombreux critères sensibles au contexte d'isolement des cimes. À ce stade, ces dernières sont considérées comme des entités distinctes ou objets, mais peuvent encore être représentées sous forme d'images thématiques (bitmap).

Génération des signatures des essences

On obtient les signatures spectrales de cimes représentatives de chaque essence et on établit une moyenne pour générer les signatures spectrales des différentes essences forestières (ITCSSG). Dans le cas de peuplements ou de plantations relativement uniformes, il faut délinéer à l'écran des zones-échantillons pour chaque essence. Le logiciel ITCSSG utilise l' image thématique des cimes pour calculer les signatures spectrales des cimes des arbres situées dans ces zones-échantillons et les amalgame pour générer les signatures des essences. Dans le cas des peuplements mixtes, la démarche est plus compliquée car il faut cliquer sur des cimes spécifiques de l'image pour générer les signatures spectrales des essences.

101-00667/

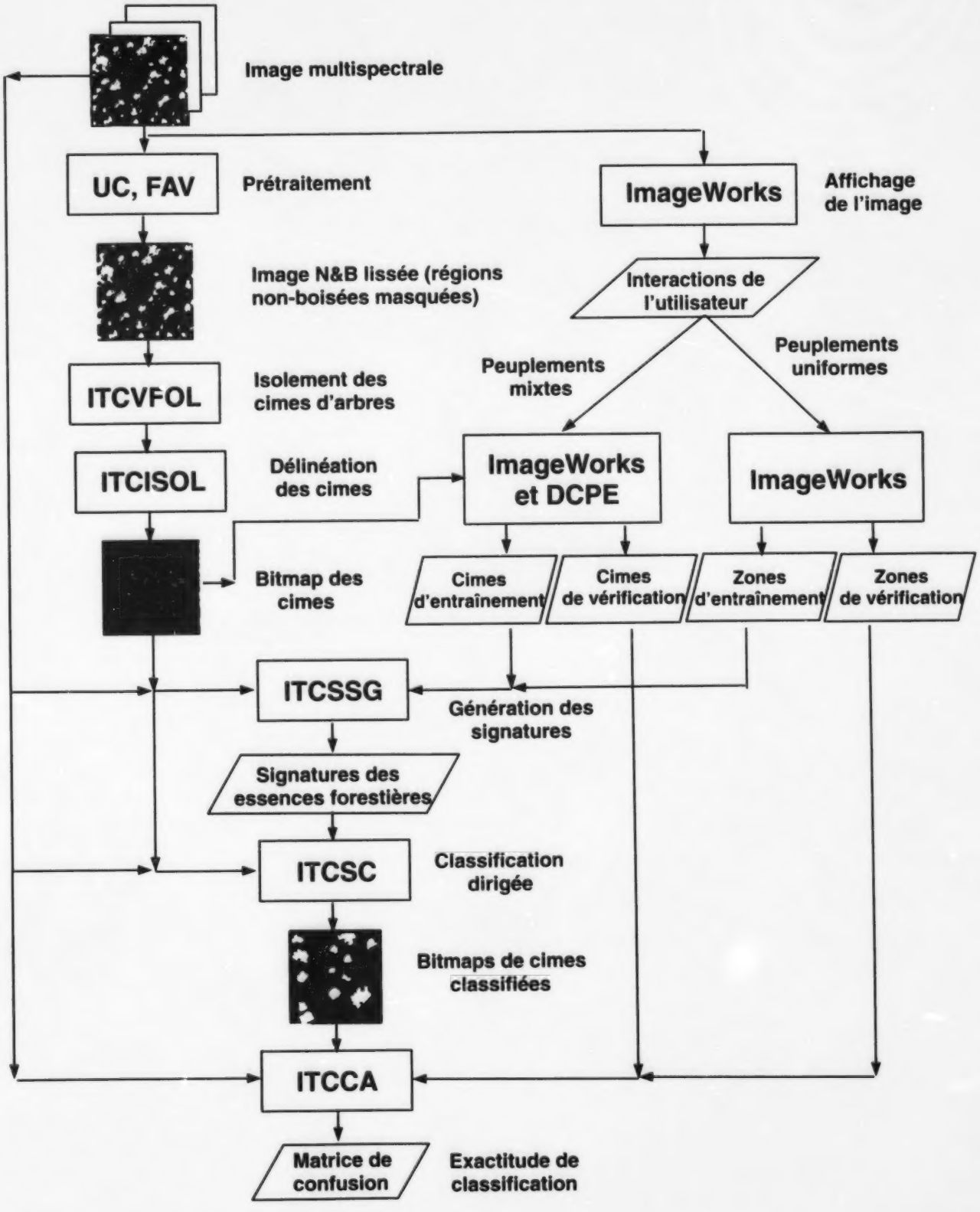


Figure 3. Processus de délinéation des cimes des arbres et de classification dirigée.

Classification des cimes individuelles

Une fois acquises toutes les signatures spectrales des essences, on exécute une classification cime par cime (ITCSC). La signature spectrale de chaque cime de l'image est calculée et comparée aux signatures des différentes essences. Une règle de décision du maximum de vraisemblance sert à assigner une essence (classe) à une cime inconnue. Un seuil d'intervalle de confiance est également utilisé pour que les cimes à signatures significativement différentes de toute autre essence demeurent non classifiées. Des images thématiques montrant toutes les cimes assignées à une essence donnée (classe) sont ensuite produites et peuvent être facilement affichées.

Délinéation des peuplements forestiers

Les peuplements forestiers sont toujours les unités préférées des inventaires d'aménagement forestier au Canada. Grâce aux interfaces existant entre les systèmes d'analyse d'images et les SIG, il est facile de résumer l'information « à l'arbre près » pour des peuplements déjà délinéés. Par conséquent, il est possible de produire des données détaillées sur la composition en essences d'un peuplement, le diamètre moyen de ses cimes par essence, sa densité, la fermeture de son couvert ainsi que sur la superficie moyenne et la répartition des trouées.

Si les limites actuelles du peuplement sont incorrectes, il est également possible d'utiliser la méthode semi-automatique illustrée à la figure 4 pour regrouper les cimes. Cette méthode fait appel aux images thématiques (bitmap) des cimes individuelles produites par ITCISOL et ITCSC, et intègre la densité des tiges et la fermeture du couvert.

STEMDENS crée une image de la densité des tiges en réduisant chaque cime à son centre de gravité et en additionnant les tiges présentes dans une fenêtre mobile de dimensions fixes. CCLOSURE crée une image sur laquelle chaque pixel correspond à la quantité de pixels de cimes présentes dans une fenêtre mobile à dimensions fixes entourant ce pixel. STEMDENS et CCLOSURE sont aussi utilisés sur les bitmaps par essence produites par la classification « à l'arbre près ». Toutes les images produites sont ensuite acheminées à un système de classification non dirigée par pixel. La classification est refaite à quelques reprises, utilisant chaque fois un nombre de classes différent, jusqu'à l'obtention d'un regroupement jugé acceptable.

Les peuplements dont la superficie est inférieure à un minimum donné sont éliminés (SIEVE +) et les limites de peuplement sont lissées à l'aide d'un filtre modal (FMO +). Pour terminer, les classes sont acheminées à un programme de transformation en vecteurs afin d'obtenir des polygones transférables à un SIG. Il est ensuite possible d'extraire (ITCPCD) l'information « à l'arbre près » contenue dans les nouvelles limites produites et, également, de la transférer à un SIG sous forme d'attributs de polygones.

Résultats de la classification des essences

Pour estimer l'exactitude, il importe de tenir compte de la mesure dans laquelle les programmes confondent une essence avec une autre. Le système de délinéation, de classification et de regroupement des cimes individuelles des arbres a été appliqué expérimentalement à une image CASI (spectromètre imageur aéroporté compact) corrigée géométriquement de la zone de démonstration forestière du lac Nahmint, sur l'île de Vancouver, en Colombie-Britannique. Dans le cadre de cette étude, une image CASI à huit bandes spectrales (~25 nm) et à résolution spatiale nominale de 60 cm par pixel a été acquise. L'approche basée sur la reconnaissance individuelle des cimes des arbres a ensuite servi à reconnaître cinq essences résineuses de l'Ouest du Canada et une classe générique de feuillus. Le tableau 1, produit par le programme ITCCA, montre la confusion qui subsiste entre les essences côtières de la zone de Nahmint (figure 3). Il présente l'exactitude de la classification, dans l'hypothèse où tous les peuplements sont purs, ce qui n'est pas le cas.

L'exactitude globale de la classification était de 60 %. La pruche de l'Ouest a été facilement différenciée (83 %) des autres essences et a été confondue dans une proportion mineure (11 %) avec le Douglas taxifolié. Les feuillus ont été assez bien reconnus (68 %) et ont été confondus dans une certaine mesure avec la pruche de l'Ouest (13 %) et le thuya géant (18 %). Le Douglas taxifolié a aussi été relativement bien différencié (64 %). Le sapin gracieux a principalement été confondu avec le sapin grandissime et vice versa. La classification du thuya géant avait le plus faible degré d'exactitude (27 %), la confusion avec le douglas vert (34 %) et le sapin gracieux (27 %) étant considérable. Cette confusion est attribuée aux importantes variations à même l'espèce et au fait que l'ITCCA présumait que le peuplement de thuyas géants était relativement pur.

+ Indique des programmes réguliers de l'environnement EASI/PACE de PCI Geomatics

Tableau 1. Confusion, par essence, entre les résultats de classification et les zones d'essai (de la région de Nahmint, en Colombie-Britannique)

	Essences réelles					
	Douglas taxifolié	**Sapin grandissime**	**Sapin gracieux**	**Thuya géant**	**Pruche de l'Ouest**	**Feuillus**
Nombre de cimes dans la zone d'essai	108	100	40	102	106	72
Essence détectée (%)						
Douglas taxifolié	63,9	16,0	7,5	34,3	11,3	0,0
Sapin grandissime	9,3	59,0	25,0	8,8	2,8	0,0
Sapin gracieux	11,1	21,0	57,5	26,5	1,9	0,0
Thuya géant	1,9	3,0	5,0	27,4	0,9	18,1
Pruche de l'Ouest	13,9	1,0	5,0	2,9	83,0	12,5
Feuillus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,1

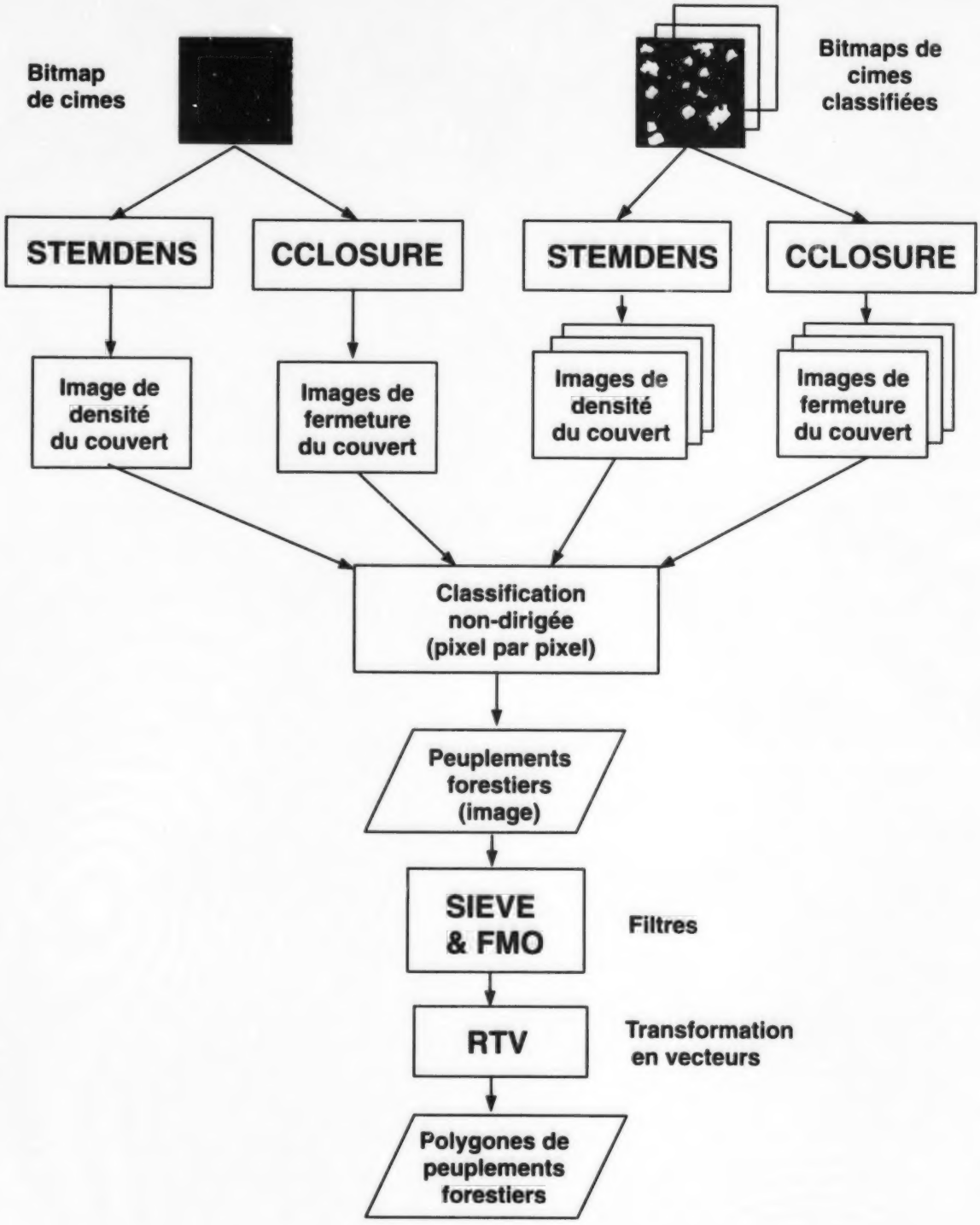


Figure 4. Processus de génération de peuplements forestiers ou de strates environnementales à partir d'images thématiques (bitmap) des cimes individuelles des arbres.

Transects sur le terrain

Dans le cadre d'une évaluation plus réaliste des résultats de la classification « à l'arbre près », la composition en essences de plus grandes zones d'essai a été comparée à celle de transects établis dans ces peuplements à l'aide de relèvements compas. Divers renseignements, comme l'essence, la dominance, la visibilité aérienne potentielle, les dimensions approximatives de la cime, la distance le long du transect linéaire, ont été notés pour chaque arbre situé à moins de 2 m de part et d'autre du transect linéaire. En ne tenant pas compte des arbres dominés, l'écart moyen des résultats concernant l'essence dominante est de 20 % et l'erreur est de 12 %, toutes essences confondues

Conclusions

Dans un avenir rapproché, il sera possible de tirer des données numériques de télédétection le type d'information nécessaire aux forestiers pour gérer les ressources forestières. Cette méthode de classification semi-automatique des cimes individuelles des arbres pourrait accroître la précision, l'exactitude et l'actualité des inventaires d'aménagement forestier. Les résultats obtenus dans la zone de démonstration de Nahmint sont encourageants.

Une approche fondée sur la reconnaissance individuelle des cimes des arbres facilite également l'évaluation de paramètres plus récents d'inventaire, comme la répartition des trouées non boisées, l'emplacements des chicots, et d'autres indicateurs de la biodiversité et de la faune nécessaires à la gestion polyvalente de nos forêts. Elle permet également aux aménagistes de tirer parti de données au niveau de l'arbre et du peuplement.

D'autres projets de recherche s'emploient à quantifier les potentialités de cette méthode dans divers environnements (comme les vieilles forêts, la régénération, les zones ravagées), dans différentes conditions (comme des changements d'illumination, de dimensions des arbres et de topographie) et avec des supports variés (images satellitaires, photos numérisées).

Lectures complémentaires

Gougeon, F.A. 1995. Comparison of possible multispectral classification schemes for tree crowns individually delineated on high spatial resolution MEIS Images. J. can. de télédétection 21(1): 1-9.

Gougeon, F.A. 1995. A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images. J. can. de télédétection. 21(3): 274-284.

Gougeon, F.A. 1996. Chapitre 10 - Télédétection numérique. Pages 539-569 *in* Bérard, J., ed. Manuel de foresterie. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. Les Presses de l'Université Laval. Sainte-Foy, Québec, Canada.

Gougeon, F.A.; Leckie, D.G.; Paradine, D.; Scott, I. 1999. Individual tree crown species recognition: The Nahmint study. Pages 209-223 in D.A. Hill and D.G. Leckie, eds. Actes du forum international : Automated interpretation of high resolution digital imagery for forestry. 10-12 février 1998, Victoria, B.C. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Victoria, B.C.

Hill, D.A.; Leckie, D.G. (editors) 1999. Actes du forum international: Automated interpretation of high resolution digital imagery for forestry. 10-12 février 1998, Victoria, B.C. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Victoria, B.C. 402 p.

Leckie, D.; Smith, N.; Davison, D.; Jay, C.; Gougeon, F.; Achal, S.; Burnett, C.; Cloney, E.; Lataille, S.; Montgomery, F.; Nelson, T.; Walsworth, N. 1999. Automated interpretation of high spatial resolution multispectral (CASI) imagery: A development project for a forest company. Pages. 201-211 in Proceedings of the 4th International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, 21-24 juin 1999, Ottawa, Ontario. ERIM International. Ann Arbor, MI.

Personne-ressource

François Gougeon
Service canadien des forêts
Centre de foresterie du Pacifique
506 chemin Burnside ouest
Victoria (Colombie-Britannique) V8Z 1M5
(250) 363-0798
Courriel : fgougeon@pfc.forestry.ca

Remerciements

Dean Mills, rédacteur, SCF
Forest Renewal BC a financé en partie l'étude de Nahmint.
Nos remerciements à Donald Leckie pour son leadership incessant.

Pour de plus amples renseignements sur le Service canadien des forêts et ces études, visitez notre site Web à l'adresse suivante : http://www.pfc.cfs.nrcan.gc.ca

Imprimé sur du papier recyclé
ISSN 1485-2815 Cat. No. Fo29-47/22-2000F
ISBN No. 0-662-28947-1

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2000

This publication is also available in English

Canada